

具有色散补偿及增益平衡的光纤链中 准孤子传输*

周国生^{1), 3)} 李学敏¹⁾ 薛文瑞²⁾ 李仲豪¹⁾ 贾锁堂¹⁾

1), 山西大学电子信息技术系, 太原 030006

2), 山西大学物理系, 太原 030006

3), 北京大学“区域光纤通信网与新型光通信系统”国家重点实验室, 北京 100871

摘 要 用变分法研究非线性薛定谔方程, 讨论了在有色散补偿及增益平衡的光纤链中双曲正割 (sech) 型和高斯型准孤子的传输条件及特性。并给出了最优化设计的判据。根据判据作了数值模拟, 结果说明近似计算对系统设计有现实意义。

关键词 光通信, 光纤链, 色散补偿。

1 引 言

长距离通信最有希望的两种方法是: 非线性的孤子通信及多级放大的光纤链的线性通信。在光纤链中, 每一节含有掺饵光纤放大(EDFA), 色散补偿光纤(DCF)及标准单模光纤(SMF)^[1, 2]。前者由于光纤放大器的瞬态发射噪声, 易产生 Gordon-Haus 尖峰, 虽然可用别的办法克服, 但装置复杂。后者若设计不当, 在光纤链个别节点场强波动较大, 终端的场振幅可能很小或很大。Mollenauer^[3]指出在光纤链中可能存在稳定的路径平均孤子^[2, 3]。在每一放大周期中, 当色散可以忽略, 主要是损耗起作用时, Hasegawa 等人的理论计算指出^[4], 可存在中心导引孤子(guiding center soliton)。文献[5]建议用呼吸子描述光纤链中光脉冲的传输, 文献[6]用变分法讨论了传输特性, 文献[7]用数值法计算了具有相同长度的色散补偿光纤和标准单模光纤的光纤链, 并指出: 在每一节中光脉冲既受损耗影响又受色散作用。在长距离下受残余色散与非线性作用, 会有准稳孤子存在。与此同时, 也在文献[8]中简要地介绍了用变分法近似计算的结果。

本文用变分法研究了双曲正割型和高斯型光脉冲在光纤链的每一节中及长距离中的变化规律, 得到了近似表达式, 而且得到了设计光纤链的判据公式。文中还用数值模拟结果与近似结果相比较, 比较结果说明这一判据近似有效, 既可用于双曲正割型的准稳孤子传输, 又可近似用于较短距离的高斯型波的传输。

* 国家自然科学基金(69678011)及山西省归国人员基金资助项目。

收稿日期: 1998-10-05; 收到修改稿日期: 1999-03-17

2 光纤链中光脉冲的传输

设光纤链中每节由增益介质、色散补偿光纤或光栅光纤和标准光纤组成(见图 1 所示),

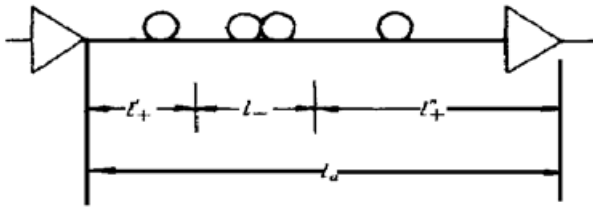


Fig. 1 Map of the optical fiber link

后二者的色散和长度分用 β 、 l 来表示, 色散补偿光纤或光栅光纤及标准光纤分别用下标 +、- 表示。设每节长度 $l_a = l_+ + l_-$, 其中 $l_+ = l'_+ + l''_+$, 色散长度及非线性长度分别为 $l_{D\pm} = -t_0^2/\beta_{\pm}$, $l_{NL} = 1/\gamma P_0$, t_0 和 P_0 是光脉冲的初脉宽及入射光脉冲峰值功率。在光纤链中场包络 E 满足非线性薛定谔方程:

$$i \frac{\partial E}{\partial \xi} + \frac{d(\xi)}{2} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} + \gamma |E|^2 E = \frac{i}{2} [-\alpha E + gE] \tag{1}$$

其中归一化长度 $\xi = z/l_a$; d 为归一化色散长度, $d = l_a/l_D = -l_a\beta/t_0^2$; t 为归一化时间, $t = (t' - z/v_g)/t_0$; v_g 为光脉冲的群速度; γ 为非线性系数, $\gamma = 2\pi n_2/(\lambda A_{\text{eff}})$; A_{eff} 为介质的有效截面积; n_2 为非线性折射率系数, $n = n_0 + n_2|E|^2$; α 为光纤的损耗; g 为光纤放大器的增益。对于光纤链, 光纤放大器的长度远远小于链的每节的长度, 所以可看作集中元件,

$$gE = \sum_{n=1}^N \delta(\xi - n) E(0, t),$$

作变换

$$E = \sqrt{P_0 \alpha(\xi)} \varphi(\xi, t),$$

这里,

$$\alpha(\xi) = \begin{cases} \exp\{-\alpha_a[\xi - (n-1)]/2\}, & (n-1) < \xi < n \\ 1, & \xi = n + 0 \end{cases}$$

归一化振幅 φ 满足非线性薛定谔方程:

$$i \frac{\partial \varphi}{\partial \xi} + \frac{d(\xi)}{2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} + c(\xi) |\varphi|^2 \varphi = 0 \tag{2}$$

$$c(\xi) = c_0 G, \quad G(\xi) = a^2(\xi), \quad c_0 = (l_a/l_{NL}), \tag{3}$$

c_0 为归一化非线性长度, 显然增益会增强非线性效应, 故可称 $c(\xi)$ 为有效非线性项。设每一节中放大与损耗相抵消, 且场的包络在传播过程中形式保持不变, 可以表示为

$$\varphi = A(\xi) f[t/v(\xi)] \exp[is(\xi)t^2/2] \tag{4}$$

式中 $A(\xi)$ 为场振幅, f 为任意函数。其实, 上述假设并不完全正确。数值计算^[7]指出: 脉冲长距离传输后, 如光纤链中没有损耗, 则光脉冲趋于高斯型; 当光纤链中有损耗时, 则趋于双曲正割型。因此, 当输入高斯型脉冲时, 在没有损耗时或距离较短时, 取 f 为高斯型。当输入是双曲正割型且有损耗时, 则取 f 为双曲正割型, 这样误差不大。经过计算可得在传输过程中的守恒量:

$$N = A(\xi) A^*(\xi) v(\xi) = 1 \tag{5}$$

当 d 为分段常数时, 由[5, 8] 可得光脉冲的脉宽 $v(\xi)$ 及啁啾 $s(\xi)$ 满足下列方程:

$$(1/v)(dv/d\xi) = sd \tag{6}$$

$$d^2v/d\xi^2 = c_1 d^2/v^3 - c_2 c(\xi) d/v^2 \tag{7}$$

当光脉冲为高斯波型时,

$$f(t) = \exp(-t^2), \quad c_1 = 4, \quad c_2 = \sqrt{2};$$

当光脉冲为双曲正割波型时,

$$f(t) = \operatorname{sech}(t), \quad c_1 = c_2 = 4/\pi^2$$

(6) 式说明, 啁啾与脉宽的相对变化率成正比, (7) 式右方第一项表示色散的作用, 它使脉宽的变化率增大, 第二项表示有效非线性项 $c(\xi)$ 与色散联合作用, 它使脉宽的变化率减小(当 $d > 0$) 或增大(当 $d < 0$)。

由于色散补偿光纤和标准光纤的群速度色散符号相反, 通过精心选取 l_+ 和 l_- 并使之互相补偿, 则可以做到剩余色散 $\bar{\beta} = (\beta_+ l_+ + \beta_- l_-)/l_a$ 很小, $|\bar{\beta}| \ll |\beta_{\pm}|$, 剩余色散长度 l_d 远大于每节长度 l_a , $l_d = -l_a^2/\bar{\beta}$ 。令任意函数 F 在一节中的平均值为 $\bar{F} = \langle F \rangle = \int_0^1 F d\xi_0$ 。 $F = \bar{F} + F_0$, 显然 $\langle F_0 \rangle = 0$ 。为了凸显色散补偿光纤补偿色散的作用, 令 $d = \bar{d} + \tilde{d}$, \bar{d} 在色散补偿光纤和标准光纤中是符号相反的常量。一般来说 $\bar{d} \ll 1$ 。令 \tilde{d} 为二阶小量, $\tilde{d} = \epsilon^2$ 。每节中的损耗被增益补偿, 并且光强不强, 以至于非线性长度 l_{NL} 与剩余色散长度 l_d 在同一数量级。

现令

$$\xi_1 = \xi, \quad \xi_2 = \epsilon^2 \xi, \quad v(\xi) = w(\xi_1, \xi_2) W(\xi_2)$$

w 主要决定于快变量 ξ_1 , 它只随慢变量作微小改变。 W 只决定于慢变量 ξ_2 。实际上 W 为脉宽 v 的缓变包络。于是式(7)变成

$$W \frac{\partial^2 w}{\partial \xi_1^2} + 2\epsilon^2 \left(\frac{\partial w}{\partial \xi_1} \frac{\partial W}{\partial \xi_2} + W \frac{\partial^2 w}{\partial \xi_1 \partial \xi_2} \right) + \epsilon^4 \left(w \frac{\partial^2 W}{\partial \xi_2^2} + 2 \frac{\partial w}{\partial \xi_2} \frac{\partial W}{\partial \xi_2} + W \frac{\partial^2 w}{\partial \xi_2^2} \right) =$$

$$c_1 \frac{\bar{d}^2 + 2\tilde{d}\bar{d} + \tilde{d}^2}{w^3 W^3} - c_2 \frac{\tilde{c}\bar{d} + \bar{c}\tilde{d} + \tilde{c}\tilde{d} + \bar{c}\bar{d}}{w^2 W^2}$$

对每一小节积分, 即对 $d\xi_1$ 从 $0 \rightarrow 1$ 积分。设每节两端光斑尺寸近似相等,

$$w(0, \xi_2) \approx w(1, \xi_2), \quad \partial \left(\int_0^1 w d\xi_1 \right) / \partial \xi_2 \approx 0$$

由于 w 、 W 恒大于零, 且在 1 附近, 可近似认为

$$\int_0^1 \frac{\bar{d}}{w^n(\xi_1, \xi_2)} d\xi = 0, \quad (n = 2, 3)$$

$$\int_0^1 \frac{\tilde{c}}{w^2(\xi_1, \xi_2)} d\xi \approx 0$$

比较各阶小量可得

$$W \int_0^1 \frac{\partial^2 w}{\partial \xi_1^2} d\xi_1 = (c_1/W^3) \int_0^1 \frac{\bar{d}^2}{w^3} d\xi_1 \quad (8)$$

$$\int_0^1 \frac{\tilde{c}\bar{d}}{w^3} d\xi_1 \approx \int_0^1 \tilde{c}\bar{d} d\xi_1 \approx 0 \quad (9)$$

$$\int_0^1 w \frac{\partial^2 W}{\partial \xi_2^2} d\xi_1 = \frac{c_1}{W^3} \int_0^1 \frac{d\xi_1}{w^3} - \frac{c_2 \bar{c}\tilde{d}}{\bar{d}^2 W^2} \int_0^1 \frac{d\xi_1}{w^2} \quad (10)$$

初条件为

$$w(0, 0) = 1, \quad W(0) = 1, \quad \partial w_0 / \partial \xi_1 = dv_0 / d\xi = 0, \quad dW_0 / d\xi_2 = 0$$

(8) 式中在对快变量 ξ_1 积分过程中, 脉宽的慢变函数 $W(\xi_2)$ 可近似视作常量。这公式说明, 脉宽的快变函数在每一节中 ($0 < \xi < 1$), 非线性效应作用很小, 主要受色散的作用而变宽, 变宽作用与缓变包络 W^4 成反比。设光纤链每节由色散补偿光纤-标准单模光纤-色散补偿光纤三段所组成, 每段长度分别是 l'_+ 、 l_- 、 l''_+ , 见图 1。注意到色散补偿光纤和标准光纤连接处有

$$\left. \begin{aligned} w_+(\xi_{ij}, \xi_2) &= w_-(\xi_{ij}, \xi_2), \\ (1/d_+)[dw_+(\xi_{ij}, \xi_2)/d\xi_1] &= (1/d_-)[dw_-(\xi_{ij}, \xi_2)/d\xi_1] \\ H_+/\bar{d}_+^2 &\approx H_-/\bar{d}_-^2, \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

其中 $\xi_{ij} = \xi'_{i+}$ 或 $\xi_{ij} = \xi'_{i+} + \xi_{i-}$; w 、 \bar{d} 取下标 \pm , 分别代表在色散补偿光纤和标准光纤中的量, $\xi'_{i+} = l'_+/l_a$, $\xi_{i-} = l_-/l_a$ 。直接积分(8), 可得

$$w_{\pm}^2(\xi_1, \xi_2) = w_{\pm}^2(0, \xi_2) + [dw_{\pm}^2(0, \xi_2)/d\xi_1]\xi_i + H_{\pm}(\xi_2)\xi_i^2, \quad (12)$$

$$\text{其中} \quad H_{\pm} = \frac{c_1 \bar{d}_{\pm}^2}{W^4(\xi_2) \omega_{\pm}^2} + \left[\frac{dw_{\pm}}{d\xi_1} \right]^2 \quad (13)$$

在第一段色散补偿光纤中

$$\xi_i = \xi_1$$

标准单模光纤中

$$\xi_i = (\xi_1 - \xi'_{i+})\bar{d}_-/\bar{d}_+ + \xi'_{i+},$$

最后一段色散补偿光纤中

$$\xi_i = \xi_1 - \xi_{i-} + \xi_{i-}\bar{d}_-/\bar{d}_+,$$

由此可见, 虽然在色散补偿光纤及标准光纤中脉宽改变较大, 但在节的末端, 当 $\xi_1 = \xi'_{i+} + \xi_{i-} + \xi''_{i+}$ 时, 由于色散补偿光纤与标准光纤的互补作用, $\bar{d}_+(\xi'_{i+} + \xi''_{i+}) + \xi_{i-}\bar{d}_- = 0$, 因此 $w_{\pm}^2(1, \xi_2) \approx w_{\pm}^2(0, \xi_2)$, 每节两端的光斑尺寸近似相等, 这说明前面假设是正确的。

(9) 式可写成

$$B = \int_0^1 \bar{c} \bar{d} d\xi_1 \approx 0 \quad (14)$$

这是光纤链能获得稳态传输的判据。由此可由已给出的标准单模光纤及色散补偿光纤参数, 及所要求的光脉冲宽度、初始功率、放大器参数, 设计标准单模光纤及色散补偿光纤的长度。由(10)式可近似得

$$d^2W/d\xi_2^2 = c_1''/W^3 - c_2''/W^2 \quad (15)$$

其中

$$c_1'' = c_1 c_1', \quad c_2'' = c_2 c_2' N \bar{c} \bar{d} / \bar{d}^2, \quad (16)$$

$$c_1' = \int_0^1 \bar{v}^{-3} d\xi_1 / \int_0^1 \bar{v} d\xi_1, \quad c_2' = \int_0^1 \bar{v}^{-2} d\xi_1 / \int_0^1 \bar{v} d\xi_1 \quad (17)$$

上式说明, 光斑尺寸的慢变包络 W 的变化既受残余色散的作用而展宽, 又受平均有效非线性克尔效应的作用而压缩(当 $\bar{d} > 0$, $\bar{c} > 0$) 或展宽(当 $\bar{c} \bar{d} < 0$)。由于 $w^2(0, \xi_2) \approx 1$, 因此在每节起点光脉冲的脉宽等于脉宽的慢变函数值, 也可以说, 在每个起点或终点, 光脉冲可由平均值的非线性薛定谔方程决定。

当 $c_1'' = c_2''$ 时 $W(\xi) = 1$ 。这时平均色散 \bar{d}^2 与平均有效非线性克尔效应相抵消, 因此在每节起点光脉冲的传输服从平均路径孤子特性。经过数值计算, c_1' 和 c_2' 约在 0.95 ~ 1 之间; 若近似为 1, 则条件 $c_1'' = c_2''$ 可表示为

$$t'_{0s} \approx (c_1' \bar{d} / c_2' \bar{c} \bar{d})^{1/2} (\bar{\beta} / \gamma P_0)^{1/2}, \quad \text{双曲正割波} \quad (18a)$$

$$t'_{0G} \approx (2 \sqrt{2} c_1' \bar{d} / c_2' \bar{c} \bar{d})^{1/2} (\bar{\beta} / \gamma P_0)^{1/2}, \quad \text{高斯波} \quad (18b)$$

这就是脉宽的最小值公式, 也是在每节起点或终点处脉宽的表达式。这里 \bar{G} 代表增益的平均值, 脚注 G 与 s 分别代表高斯型与双曲正割型波的有参量。当 $c_1' = c_2'$, $\bar{G}d = \bar{d}$ 时, 双曲正割波公式与孤子的脉宽公式相同。 $c_1' = c_2'$ 时, 维持同样脉宽的高斯波型的准孤子的功率比通常的孤子的功率大 $2\sqrt{2}$ 倍。这结果与数值计算^[6]的结果相符。

在每一节中间, 光脉冲的脉宽只决定于快变函数 $w(\xi_1)$, 且以段长 l_a 为周期作周期变化, 如见图 2 所示。脉宽的最大值或在色散补偿光纤与标准光纤连接处的脉宽可表示为

$$t_{\max}' = t_0' [1 + [dv^2(0)/d\xi_{1+}] \xi_{1+} + H + \xi_{1+}^2]^{1/2} \quad (19)$$

由于这时脉冲传播基本上是线性的, 脉冲波形基本不变, 脉宽作周期变化, 而且每节起点处光脉冲的脉宽由平均值孤子方程决定, 因此可以叫这种传输形式为准孤子传输。这时场的振幅变化由色散及损耗决定, 由(18)式表示。

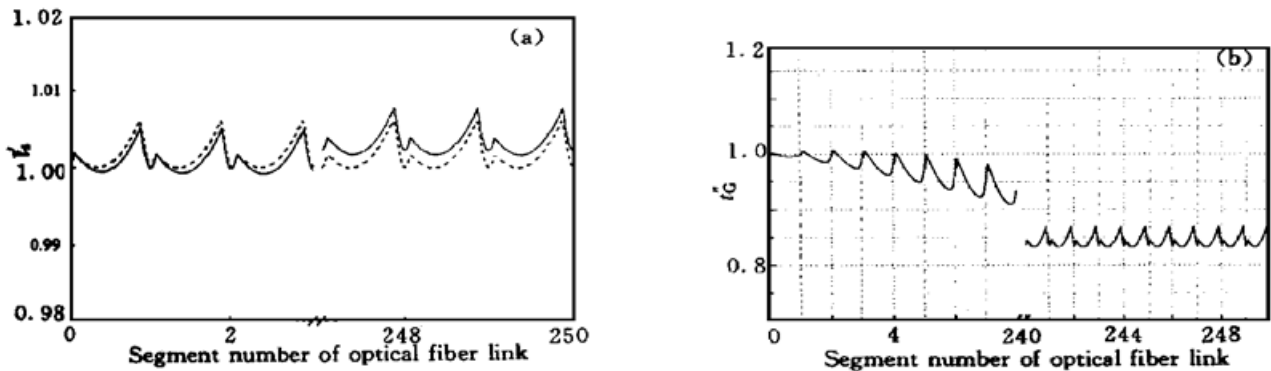


Fig. 2 Comparison of evolution of the normalized pulse width in detail, dot curves are given by Eq (12) and (15), solid curves by numerical results. (a) Average pulse width for sech wave, (b) FWHM for Gaussian wave

值得注意的是, 这种准孤子传输形式在“微观”(每一节)区域内, 主要具有线性传输特性, 在“宏观”(很多节内)具有准孤子特征, 因此这种传输形式可能是一种最佳的光纤通信传输形式: 既具有线性区域工作简单的特点, 又具有孤子的稳定特性; 既避免了线性区脉冲增大太多的缺点, 又避免了通常孤子传输中 Haus-Gordon 尖峰效应。

若放大长度 $l_A \ll l_D$ (色散长度) 时, 则在每节中色散对脉冲的快变函数不起作用。因此在平衡情况下光脉冲振幅将不振荡, 这就是中心导引孤子传输。因此中心导引孤子是本文准孤子传输的一种特殊情况。

3 数值模拟

标准单模光纤及色散补偿光纤的色散系数, $D_{2+} = 18$ ps/nm/km, $D_{2-} = -66$ ps/nm/km。设它们的非线性系数相等 $\gamma = 1.27$ km/W, 损耗系数 $\alpha = 0.046$, 脉冲峰值功率 $P_0 = 1.83$ mW, 在每一单元末经光纤放大器放大后功率峰值恢复到原值。设双曲正割光脉冲的 $t_{os}' = 50$ ps, 相应的半高全宽 $t_{os}'' = 88$ ps (以后半高全宽以角标两撇表示), 初始啁啾为 0。于是 $l_{NL} = 431$ km, $l_D = 109$ km。利用判据公式(18a)设计, 可得每一单元色散补偿光纤-标准单模光纤-色散补偿光纤链的归一化长度分布为 0.07-0.81-0.12, 相应的 $B = 0.04$ 。

由分裂步骤法计算非线性薛定谔方程(1)。当输入双曲正割型光脉冲, $t_{os}' = 50$ ps。图 3 (a) 表示光脉冲脉宽与传播距离的关系, 可见经传输 10^4 km 后, 脉宽变动很小。由以上数值模拟可知, 当取双曲正割函数作尝试函数, 利用变分法求解, 可以获得最好结果。由此可以

提供较简捷的最优设计公式。图 3(b) 表示输入是高斯型脉冲, $t'_{0c} = 1.68t'_{0s} = 84 \text{ ps}$ (图中都已归一化), 可见, t'' 迅速下降约 21%, 以后上升, 达到基本稳定。但当输入 $t'_{0c} = 50 \text{ ps}$, 进行数值模拟, 结果脉宽展宽很大。结果说明: 变分法近似理论可以运用于高斯型脉冲。这是因为对于平均路径非线性薛定谔方程, 它的解应该是双曲正割孤子解。当取高斯函数作尝试解时, 必将带来误差, 而由此变分法求出的脉宽公式(18b) 最接近非线性薛定谔方程严格解(即双曲正割孤子解)的近似表达式, 即当输入是高斯型光脉冲时, 由变分法求得的高斯型脉宽公式(18b) 最接近实际在光纤中稳定的双曲正割型光脉冲, 因此可以得到稳定传输。当高斯型的脉冲功率与双曲正割型相同时, 由(18a) 与(18b) 高斯型脉宽须满足

$$t'_{0c} = t'_{0s} \sqrt{(c_1/c_2)_c / (c_1/c_2)_s} = 1.68t'_{0s} \tag{20}$$

当高斯型的脉宽和双曲正割型的脉宽相等时, 则前者的非线性长度必须是后者的 0.35 倍

$$l_{NLG} = l_{NLS} (c_2/c_1)_c / (c_2/c_1)_s = (\sqrt{2}/4) l_{NLS} = 0.35l_{NLS} \tag{21}$$

也可以说在稳定传输情况下, 当两波初脉宽相同时, 高斯脉冲光功率应比双曲正割波功率大 2.83 倍。

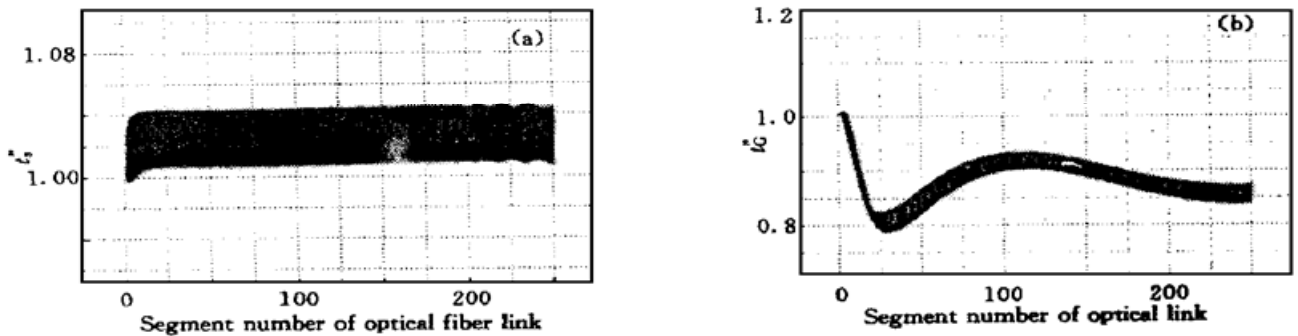


Fig. 3 Evolution of the normalized pulse width (average width) (a) For sech wave, (b) For Gaussian wave

图 4 表示平均脉宽

$$\bar{t} = \left[\int_{-\infty}^{+\infty} t^2 \mathcal{Q}(t, z) \Phi(t, z) dt / \int_{-\infty}^{+\infty} \mathcal{Q}(t, z) \Phi(t, z) dt \right]^{1/2} \tag{22}$$

随着传播距离的变化。对于双曲正割波, 始终保持近似稳定见图 4(a), 对于高斯波, 由图 4(b) 中, \bar{t} 随 z 逐渐上升。这是因为高斯波在向双曲正割波转变时辐射部分能量, 因此在脉冲边缘部分的能量增大, 因此 \bar{t} 随 z 增大。

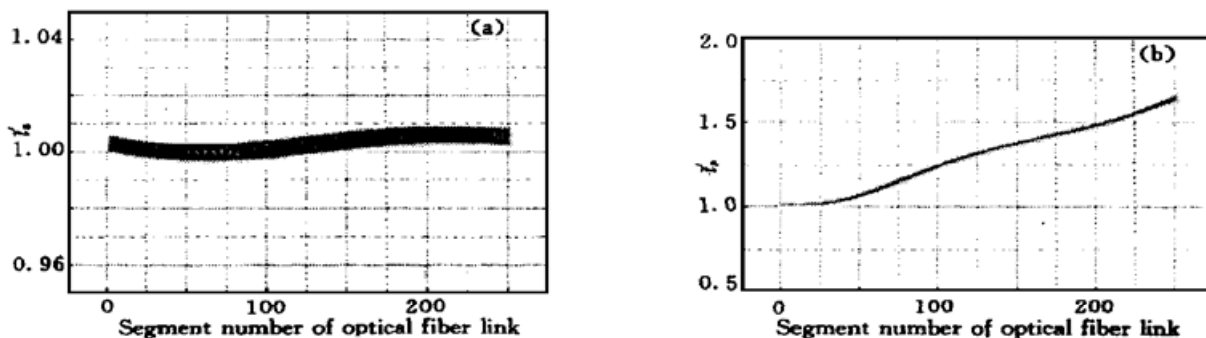


Fig. 4 Evolution of the normalized pulse width (FWHM) (a) For sech wave, (b) For Gaussian wave

图 5 表示时间带宽积随 z 的变化。图 5(a) 中表示双曲正割波带宽积基本保持在 0.32 附近, 而图 5(b) 中的曲线表示高斯波带宽积从 0.44 迅速下降到 0.30~0.32, 以后又回到 0.33 左右, 这说明高斯波进光纤后迅速向双曲正割波转变。

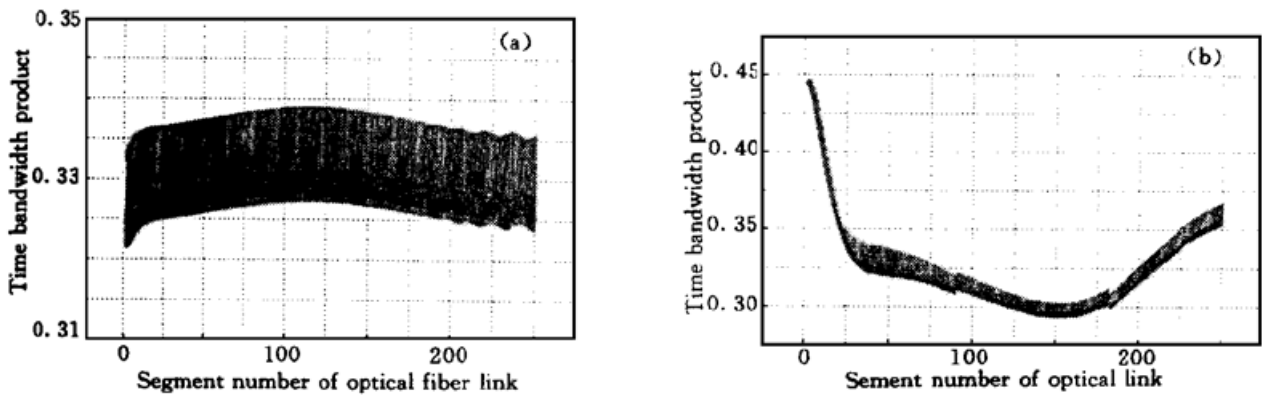


Fig. 5 Evolution of the time bandwidth product (a) For sech wave, (b) For Gaussian wave

以上各图曲线很宽是因为在每一单元中脉宽有振荡。图 2 表示传输的细部。图 2(a) 中的曲线是双曲正割波平均脉宽 \bar{t} 随距离变化图, 虚线是由变分法得到的近似结果。由图可见, 开始在色散补偿光纤中脉宽增大, 在标准单模光纤中下降, 最后在色散补偿光纤中基本恢复到原值, 振幅不大于 1%, 这说明传输十分稳定。模拟结果与变分理论计算在有些部分不大一致, 是因为计算比较粗略, (11) 式近似式太简单, 也没有详细计算每节中啁啾及脉宽改变的积累。图 2(b) 是高斯波半高全宽脉宽随距离变化图的细部。图 6 表示脉冲中心啁啾随传输距离的变化。数值模拟发现, 当色散补偿光纤-标准单模光纤-色散补偿光纤的比值改变时, 或比值不变, 而输入脉宽不满足公式(18)时, 光脉冲在长期传输中脉宽改变较大, 为节省篇幅未予列入, 将由另文讨论。

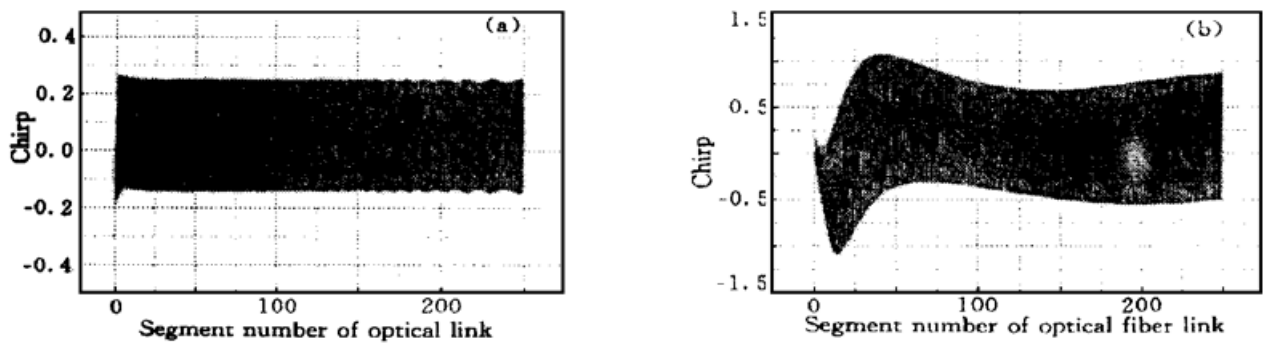


Fig. 6 Evolution of the chirp at the central part of the pulse (a) For sech wave, (b) For Gaussian wave

结 论 本文利用变分法, 不仅给出信号光源为双曲正割型波, 而且也给出了信号为高斯型波时, 光纤链的最优设计的近似判据公式、场的近似表示式及各参量的公式。由此得到的每单元三段的设计结果, 经数值模拟获得了较满意的输出, 对双曲正割波, 半高全宽脉宽振幅 $< 5\%$, 对高斯型脉宽改变也不大。

模拟说明近似计算是有效的, 文中还对高斯光束的传输作了分析, 指出了它的转变过程。

参 考 文 献

- [1] Sujuki M, Morita I, Edagana N *et al.*. Reduction of Gordon-Haus timing jitter by periodic dispersion compensation in soliton transmission. *Electron. Lett.*, 1995, **31**(23) : 2027~ 2029
- [2] Nakazawa M, Kubota H. Optical soliton communication in a positively and negatively dispersion-allocated optical fibre transmission line. *Electron Lett.*, 1995, **31**(3) : 216~ 217
- [3] Smith N J, Knox F M, Doran N J *et al.*. Enhanced power solitons in optical fibers with periodic dispersion management. *Electron. Lett.*, 1996, **32**(1) : 54~ 55
- [4] Hasegawa A, Kodama Y J. Guiding-center soliton in optical fiber. *Opt. Lett.*, 1990, **15**(24) : 1443~ 1445
- [5] Gabitor I, Shapiro E G, Turitsyn S K. Optical pulse dynamics in fiber links with dispersion compensation. *Opt. Commun.*, 1997, **134**(1/6) : 317~ 329
- [6] Malomed B A. Pulse propagation in a nonlinear optical fiber with periodically modulated dispersion: variational approach. *Opt. Commun.*, 1997, **136**(3/4) : 313~ 319
- [7] Tang X Y, Chin M K, Tan H S. Quasi-stable soliton transmission in a long-distance fiber link with periodic dispersion management and amplifiers. *Opt. Commun.*, 1997, **136**(5/6) : 379~ 384
- [8] Zhou G S, Li X M, Xue W R *et al.*. Quasi-soliton in optical fiber link with periodical dispersion management and power balance. *Proc. SPIE*, 1998, **3552** : 323~ 325

Propagation of Quasi-Soliton in Optical Fiber Link with Dispersion Compensation and Loss Balance

Zhou Guosheng^{1), 3)} Li Xueming¹⁾ Xue Wenrui²⁾
 Li Zhonghao¹⁾ Jia Suotang¹⁾

- 1), *Department of Electronics and Information, Shanxi University, Taiyuan 030006*
 2), *Department of Physics, Shanxi University, Taiyuan 030006*
 3), *National Laboratory on Local Fiber-Optic Communication Networks and Advanced Optical Communication System, Department of Electronics, Beijing University*

(Received 5 October 1998; revised 17 March 1998)

Abstract Properties and conditions of the propagation of sech and Gaussian type quasi-soliton in optical fibre link with periodical dispersion management and power balance are discussed by variational method. Criteria of the optimal design are given. In accordance with the criteria, numerical simulations are made and the results show that the approximate calculations play a significant role in the system design.

Key words optical communication, optical fiber link, dispersion compensation.